

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Lara Horvat

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

KVALITETA ISPISA DIGITALNOG
ZAPISA FOTOGRAFIJE

Mentor:

Dr. sc. Miroslav Mikota

Student:

Lara Horvat

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Fotografija koja se ostvaruje kao samostalni medij se najčešće realizira ispisom. Pri tome danas postoje različite tehnike ispisa među kojima dominiraju one temeljene na drop on demand ink jet tehnologijama, osvjetljavanju kolor fotografskog papira temeljem digitalnog zapisa fotografske slike i one temeljene na tehnologiji sublimacijskog ispisa. Fotografija definirana na monitoru računala, zapisana na odgovarajući način, postaje original, a kvaliteta konačne fotografije ovisi o odabiru tehnike ispisa. Pri tome se kvaliteta ispisa ispituje različitim mjernim i vizualnim metodama. U radu se, uz teoretski opis pojedinih tehnika ispisa i metoda ocjene, ocjenjuje kvaliteta ispisa pojedinim dominantnim tehnikama korištenjem metoda objektivnog praćenja karakteristika fotografske slike.

Ključne riječi : digitalna fotografija, ispis digitalne fotografije, kvaliteta ispisa, razlika boja

ABSTRACT

Photo achieved as a stand-alone media is usually realized by printing. At the same time there are many different techniques printing amongst which dominate those based on the drop on demand ink jet technologies, illuminating a color photographic paper based on the digital recording of the photographic image and those based technology sublimation printing. Photo is defined in the computer, written in an appropriate manner, it becomes original and final image quality depends on selection printing techniques. In doing so, print quality is tested various measuring and visual methods. In the work along the theoretical description particular techniques of printing and methods of evaluation, evaluates print quality individual dominant techniques using methods of an objective monitoring the characteristics of the photographic image.

Keywords: digital photography, digital photo print, print quality, color difference

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. PODJELE TEHNIKA ISPISA	2
2.2. INK JET ISPIS	2
2.2.1. Kontinuirani	3
2.2.2 Drop on demand (DOD ink jet)	3
2.2.2.1 Termalni – bubble jet	4
2.2.2.2. Piezoelektrični	5
2.2.3 Tinte za ink jet pisače	6
2.3 SUBLIMACIJSKI	7
2.4. ISPIS DIGITALNIM (LASERSKIM) FOTOGRAFSKIM PRINTEROM	9
2.5 ALTERNATIVNE TEHNIKE ISPISA DIGITALNE FOTOGRAFIJE	10
2.6. KVALITETA REPRODUKCIJA TONOVA I BOJA	11
2.6.1. Gustoća obojenja	11
2.6.2 Cie Lab sustav i razlika boja ΔE	11
3.EKSPERIMENTALNI DIO	14
4. REZULTATI	15
5. RASPRAVA I ZAKLJUČCI	20
6. LITERATURA	22

1. UVOD

Digitalni fotografski sustav je danas dominantni fotografski sustav i u području amaterske i u području profesionalne fotografije. U oba je područja od iznimne važnosti kvaliteta same realizacije digitalnog zapisa fotografske slike. Iako postoje različite tehnike realizacije digitalnog zapisa fotografije, realizacija ispisom predstavlja realizaciju fotografije koja se najčešće povezuje s materijalizacijom digitalnog zapisa. Općenito digitalni fotografski sustav se sastoji od osnovnih faza: snimanje - obrada - realizacije (ispis). Sam ispis, kada je fotografija samostalni medij, tj. medij koji se ne ostvaruje kroz tisak, web i sl. u velikoj mjeri ograničava i definira tehničke karakteristike, kvalitetu i doživljaj fotografije. Pri tome, danas dominiraju tehnike ispisa kao što su: ink jet, sublimacijski ispis, laserski fotografski printeri, ali postoje i alternativne tehnike ispisa kao što su: kontinuirani ink jet ispis, ispis ink jet printerom s krutim bojilom, termalni autokrom ispis, laserski ispis, indigo E-print, itd. S obzirom na utjecaj ispisa na konačni doživljaj fotografije bitno je vizualno i mjerno pratiti kvalitetu ispisa. Tijekom praćenja kvalitete ispisa digitalnog zapisa fotografije kontroliraju se vizualni i mjerni parametri kao što su: dinamični raspon, optička pokrivenost, gustoće obojenja, kolorimetrijske vrijednosti boja, razlike boja, sposobnost razdvajanja linija i sl. Pri tome, ako se govori o fotografijama standardnog dinamičkog raspona (8 bita po RGB kanalu) te realizaciji standardnim dominantnim tehnikama ispisa na odgovarajućim podlogama kao osnovni se parametri kontrole kvalitete ispisa nameću praćenje reprodukcije tonova i boja dok se za sposobnost razdvajanja linija i dinamički kontrast može smatrati da su osigurani upravo odgovarajućim izlaznim jedinicama (printerima), materijalima za ispis te odgovarajućom obradom digitalnog zapisa rezolucije (200-300 dpi u formatu ispisa) te zapisom fotografije u sRGB prostoru boja (za kolor fotografije) tj. Grayscalea (za crno bijele fotografije). Priprema fotografije za ispis jednostavno je izvediva na računalu (ili direktno fotoaparata ili pisača), a nakon toga jednom naredbom možemo tu istu fotografiju ispisati pri tome se reproducibilnost osigurava odabirom odgovarajućeg formata zapisa (najfiniji JPEG). Što se tiče ispisa općenito tržištem dominiraju laserski pisači, dok ispisom fotografske kvalitete dominiraju (tintni pisači) ink jet, a prate ih sublimacijski pisači koji se najčešće koriste za ispisivanje fotografija manjih formata i dokumenata te osvjetljavanje klasičnog kolor fotografskog papira temeljem digitalnog zapisa slike.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PODJELE TEHNIKA ISPISA

Danas se za ispis digitalnih zapisa fotografske slike koriste različite tehnike ispisa. Pri tome neke tehnike realiziraju ispis potpuno digitalnim procesom tj. slika se materijalizira direktno na podlozi za ispis (npr. Ink jet, lasersko osvjetljavanje fotografskog papira) dok se kod drugih tehnika prvo stvara master slika koja se prenosi na podlogu za ispis (npr. sublimacijski ispis). Neke od tehnika tonove formiraju rasterski (npr. ink jet), a druge stvaraju sliku s kontinuiranim prijelazom tonova (npr. osvjetljavanje fotografskog papira i sublimacijski ispis). Ako se tonovi formiraju rasterski, boje se grade CMYK ili Hi Fi (ispis CMYK i dodatnim bojama) izgradnjom uz visoke rezolucije 1200 i više dpi dok se kod kontinuiranog prijelaza tonova koristi čista (CMY) izgradnja uz rezolucije najčešće između 300 i 400 dpi. Uz ove se podjele često koristi i podjela prema formatima kojom se tehnike ispisa dijele na one formata razglednice, formata 18x24cm (ili A4) i galerijskih formata. [1,2]

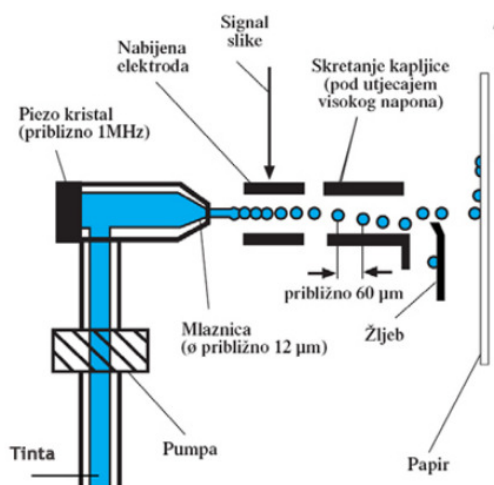
2.2. INK JET ISPIS

Ink jet ispis pokriva široki raspon tehnologija koji uključuje ispuštanje tinte na medij. Od 1970e godine kada je ink jet tehnologija ispisa prvi put predstavljena u komercijalne svrhe omogućila je vrlo preciznu metodu izbacivanja i pozicioniranja male količine boje na medij. Glavna prednost ink jet ispisa je bezkontaktni prijenos boje i podloge. Ink jet tehnologija ispisa je postala vrlo popularna u industriji zahvaljujući svojoj prilagodljivosti u grafičkom ispisu. Najveće prednosti u odnosu na ostale tehnike ispisa su sljedeće: proizvodi malo ili nimalo otpada, zbog korištenja različitih metoda ispisa ink jet tehnologija ispisa primjenjiva je u raznim industrijama, ink jet je bezkontaktni tisak i ne zahtjeva master predložak te se željeni motiv vrlo lako može modificirati na zahtjev.

Primjena ink jet printera za ispis digitalnih fotografija rezultira stalnim razvojem ove tehnologije i to u pravcu povećanja finoće ispisa, gamuta boja i svjetlostalnosti ispisa. Općenito su poznata dva principa ink jet ispisa - kontinuirani i “drop on demand” - DOD ink jet. [3,4]

2.2.1. Kontinuirani

Kontinuirani ink-jet ispis karakterizira neprestani izlaz kapljica iz spremnika (Slika 1.), a one koje ne tvore otisak se nabijaju ili ne nabijaju (ovisno o podvrsti) i putem odvodnog kanala se vraćaju u sustav. Kontinuirani ispis je moguće dodatno klasificirati po načinu ispuštanja kapi tinte i po metodi dovođenja tinte na medij za ispis. Uobičajeno, samo mali dio kapljice se koristi za ispis dok se većina tinte preusmjerava i cirkulira sustavom uz pomoć pumpi i filtera. Glavna prednost kontinuiranog ink jet ispisa je veći broj kapi u jedinici vremena po ispisanom elementu. Kontinuirani ink jet ispis danas ne predstavlja dominantnu tehniku ispisa fotografija, ali DOD tehnika ink jet ispisa, uz sublimacijski i ispis laserskim osvjetljavanjem kolor fotografskog papira pokriva najveći postotak visokokvalitetnih ispisa.[5,6,7]



Slika 1. Kontinuirani ink-jet tisak

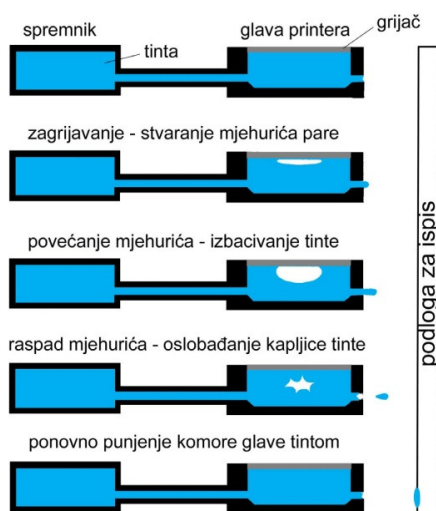
2.2.2 Drop on demand (DOD ink jet)

Za ispis digitalnih fotografija se koriste DOD („Drop on demand“) ink jet tehnologije čiji ispis karakterizira istiskivanje kapljica tinte na podlogu za ispis samo po potrebi na mjesta gdje treba nanijeti tintu kako bi se formirala slika (fotografija), a u primjeni je termalni - “bubble jet” i piezoelektrični ink jet ispis. Ink jet DOD koristi mehaničku elektrostatičku magnetsku ili termalnu energiju kako bi transportirala kapljice tinte na podlogu za ispis.[5,6,7,8]

DOD ink jet tehnika ispisa bazirana je na kontinuiranom nanosu boje te je višetonska slika moguća samo uz pomoć rastera. Jedan od nedostataka ink jet ispisa digitalnog zapisa fotografije bio je lošiji ispis svjetlijih tonova te manji gamut odnosno opseg boja koje uređaj može prikazati. Napretkom i razvojem tehnologije ink jet ispisa sustavno se riješio problem rastriranja te se ispis počinje vizualno doživljavati kao ispis s kontinuiranim prijelazom tonova. Neki ink jet printeri za ispis digitalnog zapisa fotografije koriste rješenje sa dodatnim bojama za ispis (Hi Fi ispis). Hi Fi ispis podrazumjeva da se uz standardni prostor boja CMYK ispisuje i svjetli cijan i svjetla magenta (CCMMYK), a poznata su i rješenja s dodatnim ispisom primarnih boja aditivne izgradnje (R, G, B), ispisom posebne crne, više crnih (sivih), odnosno kombinacije ovih rješenja (npr. u ispisu crno-bijelog digitalnog zapisa fotografije). Boje se definiraju kroz “prostor boja”. Ako su uređaji usklađeni prema prostoru boja, tada su boje koje se snimaju, reproduciraju te ispisuju podjednake.[7,8]

2.2.2.1 Termalni – bubble jet

Termalni – „bubble jet“ također su poznati kao „Bubble Jet by Canon of Japan“ i „Termal Ink Jet i ThinkJet by Hewlett-Packard“ (Slika 2.). Zagrijavanjem tankog sloja grijača u komori za ispis uzrokuje se naglo isparavanje malog dijela boje. Da bi se stvorila kapljica temperatura tankoslojnog grijača naglo se povećava električnom indukcijom. [7,8]

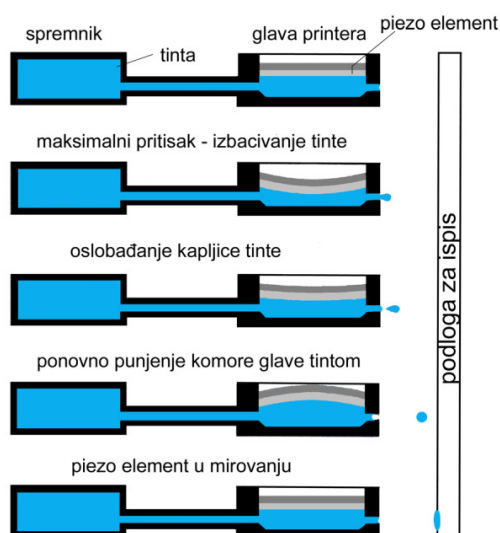


Slika 2. Termalni-bubble jet

Tipično vrijeme zagrijavanja ($3 - 10\mu\text{sec}$) je prekratko za konvencionalni utjecaj prijenosa topline. Grijanje uzrokuje sitno isparavanje kojim se stvaraju balončići. Kada balončić dovoljno naraste dolazi do izlaska boje kroz sapnicu i stvaranje kapljice koja se nanosi na podlogu za ispis. Nakon toga slijedi hlađenje grijača što rezultira nestajanjem mjehurića pare te stvaranjem podtlaka što omogućuje dolazak nove količine tinte u komoru.

2.2.2.2. Piezoelektrični

Karakteristike određenih materijala da se utjecajem električnog impulsa deformiraju, a zatim vraćaju u početno stanje (piezoelektrični efekt) glavno su svojstvo piezoelektričnih ink jet pisača. (Slika 3.) Tinta se iz spremnika dovodi u komoru s piezo elementom. Djelovanjem električnog impulsa na piezo element dolazi do piezoelektričnog efekta - kristal (piezo element) počinje titrati, u komori tintom se stvara povećani pritisak što rezultira istiskivanjem kapljice tinte kroz mlaznicu na podlogu za ispis. [7,8,9]



Slika 3. Piezoelektrični ink-jet

2.2.3 Tinte za ink jet pisače

Jedan od najvažnijih faktora za dobar ink-jet ispis je optimalna reologija tinte. S obzirom da tinta dolazi do podloge prolaskom kroz sapnice važno je da su viskoznost i tečljivost, te površinska napetost boje takve da optimalno odgovaraju korištenoj ispisnoj glavi. Također je i važna kompatibilnost podloge za ispis s tintom kojom se ispisa. Idealna tinta je ona koja je dovoljno tekuća da bez problema prođe kroz sapnice ispisne glave bez da ih začepi, a da se u isto vrijeme ne sasuši u njima.

Tinta kao i podloga ima veliku ulogu u postizanju što kvalitetnijeg ispisa, a u ovisnosti o tipu pisača i kemijskom sastavu razlikujemo nekoliko osnovnih vrsta tinte. Tinte za termalne pisače prvenstveno moraju biti termostabilne. Ne smiju brzo hlapiti jer je u procesu ispisivanja tinta podvrgnuta zagrijavanju, pa postoji mogućnost da se promjene njena svojstva pod utjecajem topline. Otisak se nakon izlaza iz pisača treba brzo osušiti.

Kod pisača na bazi piezoelektrične tehnologije koriste se tinte s lakohlapivim otapalom koje se suše hlapljenjem dok se vrlo malo suše penetracijom u papir. Zbog toga je kod takvih pisača moguće koristiti papir lošije kvalitete, koji može imati porozniju strukturu.

Ink jet pisači danas uglavnom koriste dvije vrste tinte – tinte s kolorantima na bazi bojila (engl. dye based inks) te pigmentirane tinte (koloranti na bazi pigmenata). Kako kod ink jet ispisa fotografija smanjenje gamuta i, općenito, kvalitete ispisa ne dolazi u obzir, ink jet printeri za ispis fotografija izvorno koriste tinte temeljene na pravoj otopini koloranata u vezivu koje se uglavnom sastoje od koloranata, deionizirane vode te alkohola koji ubrzava sušenje tinte i dodataka (bojila se u potpunosti otapaju u otopini). Koloranti omogućuju veći gamut (prostor boja) na ispisu, ne stvaraju probleme sa začepeljivanjem sapnica, u kombinaciji s vodom kao otapalom tvore gotovo pa idealno rješenje za ink-jet ispis, dobro su topivi. Njihove negativne strane su lošija otpornost na svjetlo nego što je slučaj s pigmentima (prvenstveno zbog njihove veličine i kemijskog oblika), što je posebno primjetno kod magenta bojila, te problemi s otpornosti otiska na vodu. Kao tvar za obojenje tinte koristi se jedan ili više tipova koloranta ili pigmenta koji čine 5-20% sastava tinte. Njihova veličina bitno utječe na zasićenje boja ispisa, transparentnost i svjetlostalnost. Zbog toga se razvoj tinta za ink

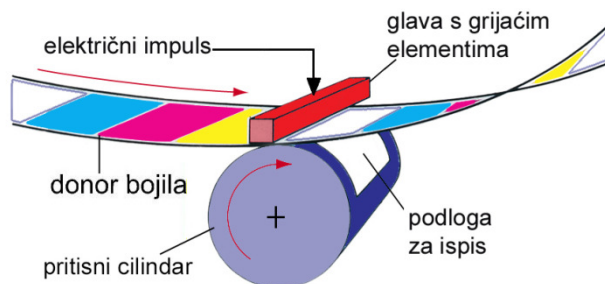
jet ispis digitalnog zapisa fotografije od devedesetih godina dvadesetog stoljeća snažno usmjerio na pronalaženje tinte koja će omogućiti što veći gamut i svjetlostalnost. Danas se za kvalitetan ispis fotografija isključivo koriste određene kombinacije tinte i podloge za ispis tj. tinte koje se baziraju na kolorantima ili pigmentima i podlogama određenog premaza. Ostali dodaci u tintu određuju se na temelju odabira pigmenta ili koloranata.

Za ispis se digitalnog zapisa fotografija ink jet tehnologijama koriste različite podloge koje ovise o vrsti tinte. Podloge za ispis premazane su tzv. receptorskim slojem, a kao bazu koriste RC(resin coated) podloge, papirne, plastične i druge vrste podloga.

Veziva, bjelila, aditivi i aktivni dio sastavni su dio receptorskog sloja. Aktivni sloj se sastoji od sredstva za vezanje koloranta (pigmenta) i apsorbenta vlage. Sredstvo za vezanje koloranta (pigmenta) mora biti takvo da prihvaća, a ne odbija kolorant (pigment) te ovisi o karakteru koloranta (pigmenta). Najčešći aktivni sloj je baziran na hidrofobnom lateksu i hidrofilnom silicijevom dioksidu u kombinaciji s ink jet tintom na bazi vode. Vezivo receptorskog sloja je kombinacija kopolimera koji drže aktivni sloj u disperziji (to je npr. želatina, PVA, PVC, polistiren i sl.). Bjelila receptorskog sloja (npr. titanov dioksid) povećavaju kontrast ispisa povećavanjem bjeline baze, a aditivi poboljšavaju neka svojstva ispisa - primarno povećavaju njegovu svjetlostalnost.[9]

2.3 SUBLIMACIJSKI

Sublimacijski printeri za proces ispisa koriste toplinu kako bi prenijeli bojilo na podlogu za ispis. Svoj su naziv dobili po idejnom principu rada – sublimaciji – procesa prevođenja krutog bojila u plinovito stanje bez tekuće međufaze. Većina sublimacijskih printera se koristi za ispis digitalnog zapisa fotografija za dokumente. Glavna prednost u odnosu na ink jet tehniku ispisa je u činjenici da ispis rezultira kontinuiranim prijelazom tonova, odnosno svaka ispisana točkica može biti bilo koja boja. Također, jedna od prednosti u odnosu na ink jet tehniku ispisa je to što se gotov otisak ne mora naknadno sušiti. U odnosu na ink jet tehnike ispisa sublimacijski proces (Slika 4.) ima i mane. Najveća mana mu je neiskorištenost bojila te ne mogućnost ponovnog korištenja donor bojila.[8]

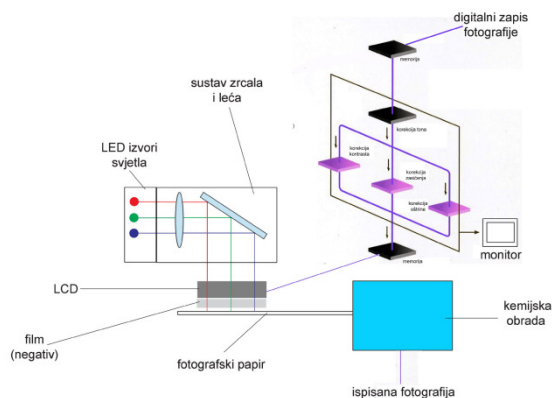


Slika 4. Princip sublimacijskog printera

Grijači temperaturnom regulacijom određuju količinu boje koja se u plinovitom stanju prenosi i prodire u podlogu te izaziva određenu kemijsku reakciju. Podrazumijeva se da je za to potreban specijalan papir. Nanošenje bojila vrši se jedna po jedna. Zbog toga je broj stranica, odnosno ukupna površina koju je moguće ispisati, točno određena. Slika dobivena sublimacijskim printerom je fotorealistična. Posebnim vrpčama ispisu se može dodati poseban sjaj ili metalizacija. Bojilo sublimacijskih printera nanoseno je na tanki polimerni film te se na podlogu za ispis prenosi pritiskom termalne glave koja sadrži grijaće elemente. Količina bojila koje s filma prelazi na podlogu za ispis ovisna je o temperaturi grijaćeg elementa i trajanju pritiska. Apsorpcijom bojila na podlogu za ispis ono se razlijeva čime dolazi do raspršenja rubnih područja točkica te njihovog stapanja što rezultira ispisom s kontinuiranim prelazom tonova. Bojilo za sublimacijski ispis fotografija karakterizira izdašnost i transparentnost što je pretpostavka “prave” suptraktivne izgradnje boja širokog raspona, tj. velikog gamuta, na ispisu. Nosač bojila je tanki poliesterski film (cca. 6 μm) koji je, sa strane koja dolazi u dodir s termičkom glavom, premazan slojem otpornim na toplinu, a sa druge strane aktivnim slojem. Za ispis fotografske slike sublimacijskim printerom su potrebna četiri prolaza podloge za ispis kroz printer. U prva se tri prolaza na podlogu nanose bojila (u pravilu redom: žuto, magenta, cijan), a u zadnjem prozirni zaštitni sloj, sjajni ili mat, koji ispis (fotografiju) štiti od UV zračenja i mehaničkih oštećenja. Prilikom svakog ispisa se koristi ribon površine podloge za ispis za svaku boju i zaštitni sloj. Podloga za ispis fotografija sublimacijskim printerom je polimerna premazana slojem kopoliestera velike glatkoće koji osigurava dobro prihvaćanje bojila jer bi inače, pri nanosu sljedećeg bojila, došlo do razlijevanja bojila s podloge na ribon. Ovakva podloga za ispis vizualno odgovara “klasičnim” sjajnim plastificiranim fotografskim papirima.[8]

2.4. ISPIS DIGITALNIM (LASERSKIM) FOTOGRAFSKIM PRINTEROM

Ink jet i sublimacijski printeri za ispis digitalnih fotografija prvenstveno pokrivaju potrebe pojedinačne izrade fotografija i mogu se usporediti s aparatima za povećavanje u klasičnoj fotografiji. Veliki automatizirani fotografski studiji su orijentirani velikoj brzini i kapacitetima izrade više stotina (pa i tisuća) fotografija u satu te kao i kod klasične fotografije koriste, tzv. fotografske printere koji se temelje na osvjetljavanju “klasičnih” kolor fotografskih papira i njihovoj kemijskoj obradi. Laserski printeri su prije svega namijenjeni za veliku količinu ispisnog materijala sa naglaskom na brzinu i niske cijene ispisne stranice ponekad i na uštrb kvalitete. Prvi digitalni fotografski printeri koristili su LED tehnologiju ali kod izrade digitalno zapisane fotografije ispisana fotografija ima „mrežastu“ strukturu kao na monitoru te se danas rijetko koristi kod izrade digitalnih fotografija. Moderni digitalni fotografski printeri koriste lasersko osvjetljavanje fotografskog papira pa se često nazivaju i laserski (digitalni) fotografski printeri. Prema naredbi računala laserski osvjetljavaju kolor fotografski papir plavim, zelenim i crvenim laserskim svjetlom djelujući na pojedine slojeve (nositelje slike u boji komplementarnoj onoj izvora svjetla) te se gotova fotografija dobiva nakon kemijske obrade (Slika 5.) [1,8]

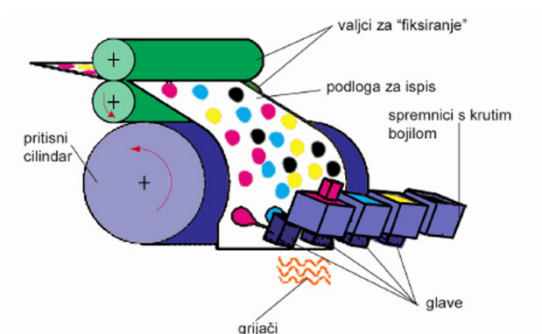


Slika 5. Princip digitalnog fotografskog printera LED tehnologije

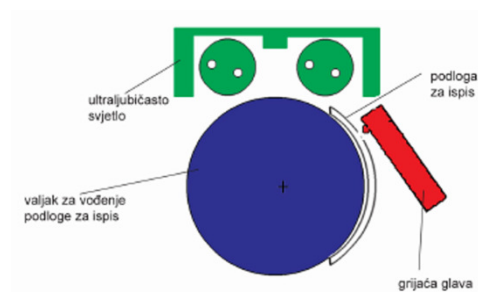
Takva fotografija ima kontinuirani prelaz tonova i građena je suptraktivnom (CMY) izgradnjom boja. Pri ispisu digitalnih zapisa fotografija se prednost daje softverskoj korekciji boja i tonova koja obuhvaća korekciju kontrasta, zasićenja, oštine (pri renderiranju) i oštećenja (kod ispisa digitaliziranih fotografija - pri skeniranju) i sl.

2.5 ALTERNATIVNE TEHNIKE ISPISA DIGITALNE FOTOGRAFIJE

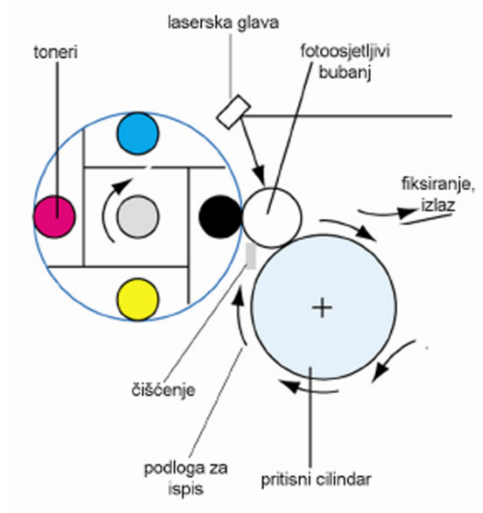
Uz dominantne tehnike ispisa digitalnog zapisa fotografije čiji rad je opisan, postoje i alternativne tehnike ispisa kao što su: kontinuirani ink jet ispis, ispis ink jet printerom s krutim bojilom, termalni autokrom ispis, laserski ispis, Indigo E-print, itd.(Slike 6-9.)[9]



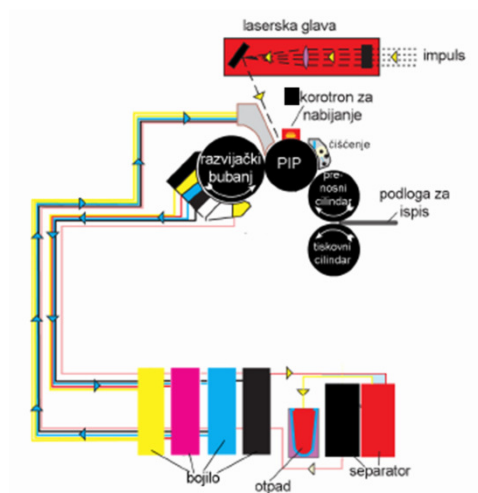
Slika 6. Princip ink jet printera s krutim bojilom



Slika 7. Princip printera za termalni autokrom ispis



Slika 8. Princip laserskog printera



Slika 9. Princip Indigo E-printa

2.6. KVALITETA REPRODUKCIJA TONOVA I BOJA

2.6.1. Gustoća obojenja

Pojedine tehnike ispisa digitalnog zapisa fotografije na različiti način formiraju kolor fotografiju, odnosno za ispis pojedinih primarnih boja suptraktivne izgradnje boja (cijan, magenta, žuta) koriste različite postotke za različite tonske vrijednosti, a neke tehnike ispisa koriste i dodatne boje. Za praćenje i definiranje boja, odnosno kontrolu kvalitete ispisa na fotografiji, se danas koriste kolorimetrijska odnosno spektrofotometrijska mjerenja. Gustoća obojenja, kao osnovni denzitometrijski podatak pri kontroli kvalitete fotografije predstavlja logaritam opaciteta mjerenog polja na fotografiji. Gustoća obojenja može se odrediti za crnu i primarne boje suptraktivne sinteze (za koje se određuje mjerenjem kroz filter komplementarne boje). Za kontrolu kvalitete realizirane fotografije podatak u maksimalnoj gustoći obojenja omogućuje i definiranje optičke pokrivenosti nekog polja prema formuli:

$$OP = (1 - 10^{-D_{op}}) : (1 - 10^{-D_p}) \times 100$$

gdje je OP optička pokrivenost, D_{op} gustoća obojenja polja za koje se određuje OP, a D_p maksimalna gustoća obojenja.

Podatak o maksimalnoj gustoći obojenja je i temeljni podatak o tehničkom kontrastu i dinamičkom rasponu realizirane fotografije. [10]

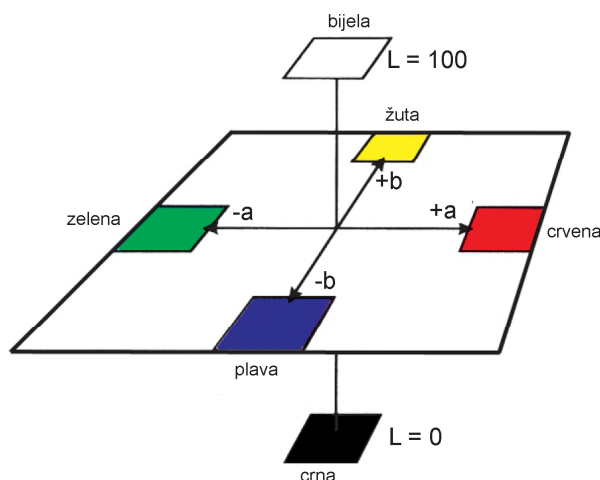
2.6.2 Cie Lab sustav i razlika boja ΔE

1976. godine je predstavljen CIE Lab sustav koji se danas intenzivno koristi i predstavlja dominantan sustav prikaza boja postignutih ispisom digitalnog zapisa fotografija (kao i općenito u tisku).

Lab sustav predstavlja jedinstveni prostor boja ujednačenih prostornih i vizualnih razlika (udaljenosti) boja i određen je pravokutnim koordinatama L, a, b (Slika 10.) koje se definiraju odnosom:

$$L = 116 (Y / Y_n)^{1/3} - 16, a = 500 [(X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}], b = 200 [(Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}] \quad [10]$$

gdje se tristimulusne vrijednosti X_n , Y_n i Z_n odnose na nominalni stimulus bijelog objekta uz standardnu vrstu rasvjete.



Slika 10. CIE Lab prostor boja

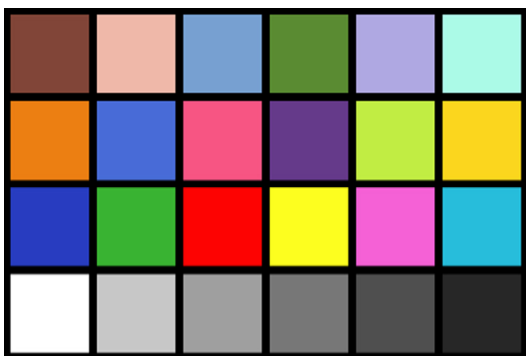
Razlika boja (ΔE) u Lab prostoru boja se izvorno određuje po formuli:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Ova je formula razrađena te je 1994. g. definiran matematički izraz za određivanje razlike boja (ΔE_{94}) koji je dalje razrađen 2000. godine (ΔE_{00}). Razlika boja ΔE_{00} se određuje prema formuli:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

Ovako određena razlika među bojama omogućuje vrednovanje razlika među bojama po kriteriju: ako je razlika među bojama manja od 0.2, smatra se da se vizualno ne uočava odstupanje, ako je između 0.2 i 1, vizualno su uočljiva mala odstupanja, razlika između 1 i 3 uzima se kao prihvatljiva, 3 i 6 još uvijek prihvatljiva, a veća od 6 neprihvatljiva. Kako bi se mogla pratiti kvaliteta realizacije fotografske slike određivanjem gustoća obojenja, L, a, b vrijednosti i ΔE razlike boja kao fotografska slika se testno ispisuje standardna tablica boja pohranjena u JPEG zapisu i, u pravilu sRGB prostoru boja. (Slika 11., tablica 1.)



Slika 11. Tablica boja

Tablica 1. L,a,b vrijednosti boja Gretag Macbeth tablice boja

naziv	L	a	b	naziv	L	a	b
tamna koža	38,02	14,78	12,17	plava	29,66	29,75	-54,78
svijetla koža	66,37	16,93	13,50	zelena	55,48	-38,30	31,13
			-				
plavo nebo	51,04	3,39	26,03	crvena	41,22	54,06	23,91
		-					
maslinastozelena	43,21	14,37	19,72	žuta	81,35	0,43	76,64
			-				
ljubičica	56,39	16,01	29,69	magenta	51,61	52,53	-19,50
		-					
plavozelena	71,62	26,96	-3,05	cijan	51,61	-17,58	-45,07
narančasta	61,74	31,41	56,10	bijela	96,00	5,16	-5,53
			-				
purpurnoplava	41,22	20,37	47,12	siva 8	81,35	4,48	-4,81
umjerenocrvena	51,61	46,41	11,88	siva 6.5	66,67	3,81	-4,08
			-				
purpurna	30,88	28,46	26,41	siva 5	51,61	3,11	-3,34
		-					
žutozelena	72,43	24,72	56,89	siva 3.5	35,98	2,39	-2,57
narančastožuta	71,62	16,45	64,70	crna	20,44	1,68	-1,80

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom se dijelu rada uspoređuju dominantne tehnike ispisa digitalnog zapisa fotografske slike temeljem kontrole promjene kolorimetrijskih vrijednosti standardnih boja, određivanja ukupnih razlika boja ΔE_{00} i gustoća obojenja.

Ispitivanje se provodi usporedbom ispisa dobivenog Hi Fi piezoelektričnim printerom, sublimacijskim printerom te digitalnim laserskim fotografskim printerom (laserskim osvjetljavanjem klasičnog fotografskog papira).

Korišteni Hi Fi piezoelektrični ink jet printer ispis fotografija ostvaruje ispisom cijana, svijetlog cijana, magente, svijetle magente, žute i crne u rezoluciji 2800 dpi. Sublimacijski printer rezolucije 300 dpi ispis ostvaruje ispisom cijana, magente i žute kao i korišteni digitalni laserski fotografski printer uz rezoluciju 400 dpi.

Za ispis su korišteni optimalni, od proizvođača preporučeni materijali. Za sve su ispise korištene odgovarajuće podloge za ispis, koje osiguravaju fotografsku kvalitetu ispisa, visokog sjaja luminacije između 63% i 66% površinske mase između 245 gm^{-2} i 250 gm^{-2} .

Za ispis je pripremljena standardna Gretag Macbeth tablica boja formata 18 x 24 cm rezolucije 300 dpi u sRGB prostoru boja uz korištenje najfinijeg (12) JPEG zapisa. Za ispisane su tablice boja izmjere L, a, b vrijednosti za sve boje spektrofotometrom X-Rite Color-Digital Swatchbook te maksimalne gustoće obojenja za crnu.

Iz dobivenih L, a, b vrijednosti su izračunate ukupne razlike boja ΔE_{00} (pojedinih ispisa u odnosu na ulazne vrijednosti – standardnu razliku boja).

Kao temeljni parametri kvalitete ispisa su odabrane kolorimetrijske vrijednosti standardnih boja fotografskih motiva (tamna koža, svijetla koža, plavo nebo), primarnih boja aditivne sinteze (plava, zelena, crvena), primarnih boja suptraktivne sinteze (cijan, magenta, žuta) te akromatskih boje - bijele (W), sive 5 (GR5) i crne (K).

4. REZULTATI

U tablicama br. 2-4 su prikazani rezultati izmjerenih L, a, b vrijednosti za standardne boje fotografskih motiva (tamna koža, svijetla koža, plavo nebo), primarne boje aditivne sinteze (plava, zelena, crvena), primarne boje suptraktivne sinteze (cijan, magenta, žuta) te akromatske boje - bijela (W), siva 5 (GR5) i crna (K) za sve dobivene ispise.

Tablica 2. L,a,b vrijednosti ispisa sublimacijskim ispisom printerom

naziv boje	L	a	b
tamna koža	39,72	14,17	1,59
svijetla koža	67,03	17,41	0,61
plavo nebo	54,31	-2,81	5,85
Plava	37,16	5,17	-37,64
zelena	54,83	-28,59	20,78
crvena	40,04	51,85	27,33
Žuta	84,79	1,25	69,09
magenta	57,00	41,68	-4,35
Cijan	53,37	-18,72	-31,85
Bijela	94,92	2,52	-3,86
siva 5	50,33	-1,05	-6,22
Crna	20,54	-1,96	-7,22

Tablica 3. L,a,b vrijednosti ispisa digitalnim laserskim printerom

naziv boje	L	a	b
tamna koža	41,59	20,27	17,71
svijetla koža	67,07	23,42	17,40
plavo nebo	49,48	1,32	-27,71
plava	27,38	28,00	-48,79
zelena	43,62	-35,85	27,88
crvena	42,49	58,54	31,92
Žuta	73,97	16,35	90,72
magenta	52,45	54,01	-13,05
Cijan	37,83	-25,64	-42,54
bijela	91,45	1,62	-2,85
siva 5	52,36	4,09	-3,53
Crna	21,05	2,35	-2,47

Tablica 4. L,a,b vrijednosti ispisa Hi Fi i ink jet printerom

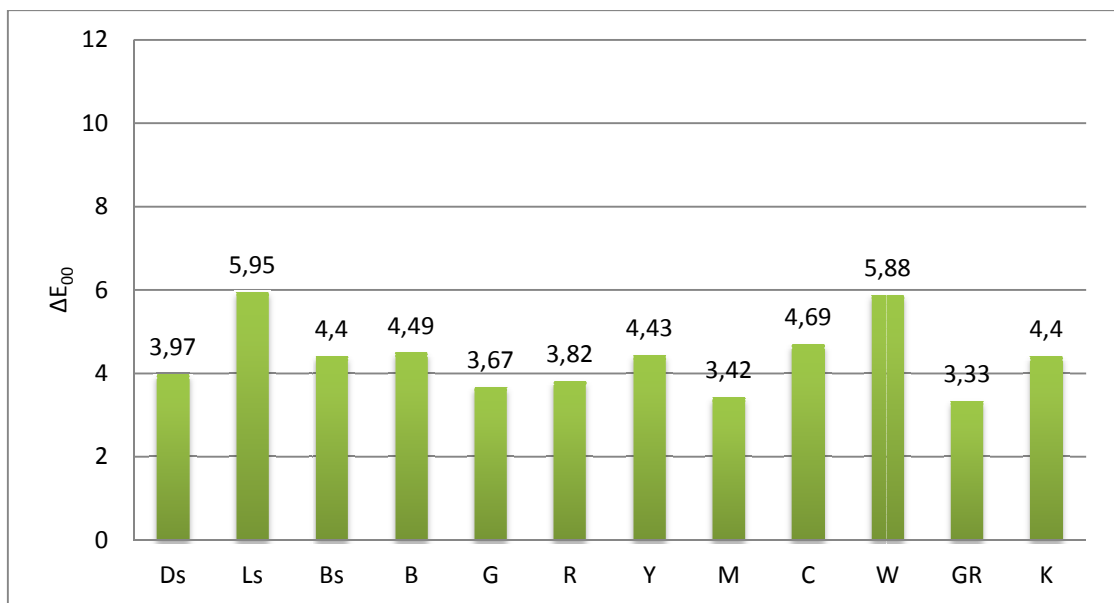
naziv boje	L	a	b
tamna koža	42,50	14,38	3,97
svijetla koža	65,17	13,82	5,95
plavo nebo	52,59	-1,48	4,40
Plava	32,82	21,44	-50,73
zelena	54,69	-36,00	22,65
crvena	41,60	50,31	16,04
Žuta	77,12	2,00	63,67
magenta	52,12	43,80	-13,51
Cijan	50,02	-25,42	-39,97
Bijela	89,14	4,49	-10,46
siva 5	54,65	3,10	-5,12
Crna	25,50	0,74	-4,02

Tablica br. 5 prikazuje srednju vrijednost ukupne promjene boja za sve boje standardne tablice boja te izmjerene maksimalne gustoće obojenja crne za sve ispitivane ispise.

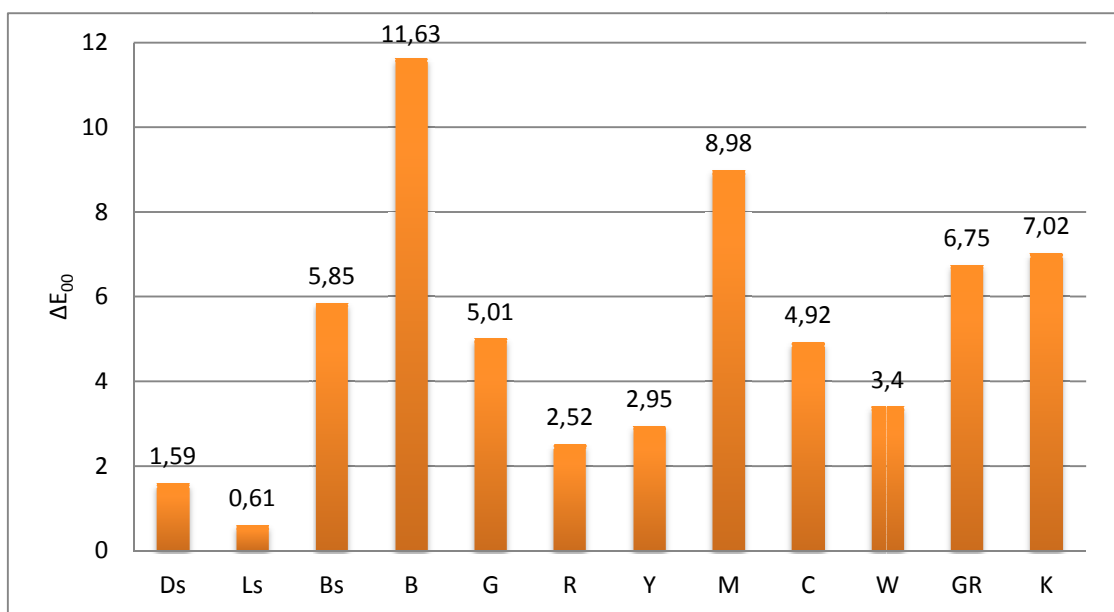
Tablica 5. Srednje vrijednosti ukupne promjene boja i maksimalne gustoće obojenja

Tehnika ispisa	inkjet	sublimacija	foto
ΔE_{00} (srednja)	4,6	5,97	4,93
Dmax (K)	3,07	2,47	2,18

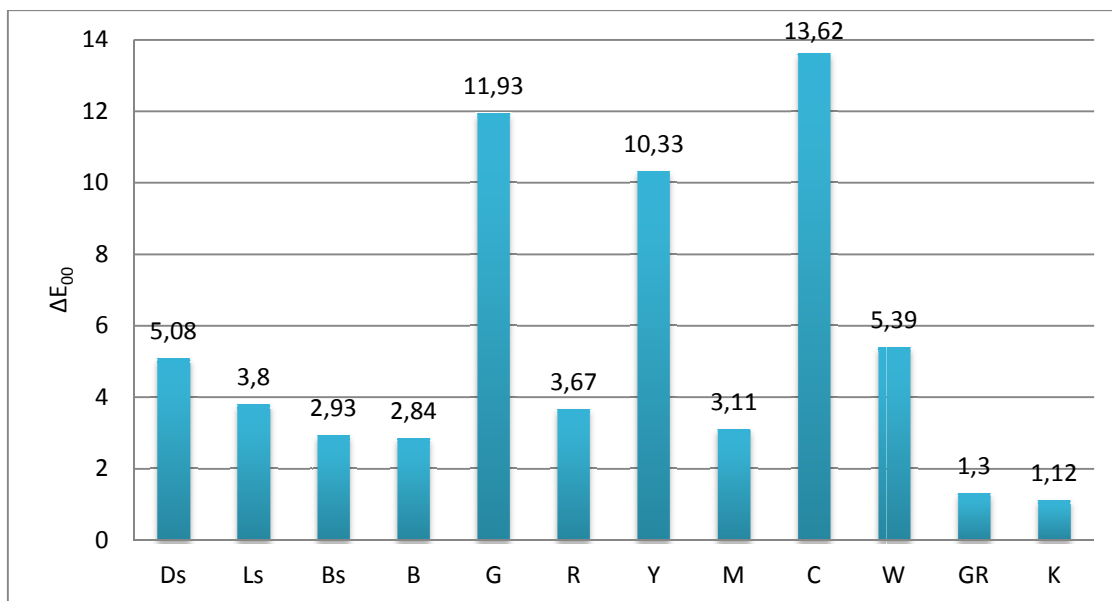
Na slikama su prikazani dijagrami ukupne razlike boja ispisa digitalnog zapisa u odnosu na standardnu tablicu boja za standardne boja fotografskih motiva (tamna koža, svijetla koža, plavo nebo), primarne boje aditivne sinteze (plava, zelena, crvena), primarne boje suptraktivne sinteze (cijan, magenta, žuta) te akromatske boje - bijelu (W), sivu 5 (GR5) i crnu (K).



Slika 12. Dijagram razlike boja za ispis ink jet tehnologijom



Slika 13. Dijagram razlike boja za ispis sublimacijskim printerom



Slika 14. Dijagram razlike boja za ispis digitalnim laserskim printerom

5. RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Digitalni fotografski sustav je danas najčešći fotografski sustav. Kada se promatra fotografija kao samostalni fotografski medij, tj. medij koji se ne ostvaruje kroz druge medije, kvaliteta realizacije digitalnog zapisa fotografske slike je glavni ograničavajući faktor ukupne kvalitete fotografske slike.

Kada se govori o materijalizaciji digitalnog zapisa fotografske slike, primarno se govori o njenom ispisu. Danas se za ispis digitalnih zapisa fotografije koriste različite tehnike ispisa, među kojima su dominantne Hi Fi ink jet (DOD) tehnike ispisa, sublimacijski ispis te digitalni laserski fotografski ispis (lasersko osvjetljavanje klasičnog kolor fotografskog papira). Iako ove tehnike ispisa ispis ostvaruju različitim tehnologijama i različitim načinima izgradnje boja i tonova, uz korištenje odgovarajućih materija, iz odgovarajuće pripremljenog digitalnog zapisa kao ulazne informacije), osiguravaju ispis fotografske kvalitete.

Provedeno je ispitivanje pokazalo da, unatoč navedenom, odabir tehnike ispisa utječe na karakteristike konačne, materijalizirane fotografske slike. Ako se kao parametar kvalitete promatra ukupna razlika boja kao srednja vrijednost razlika boja svih boja standardne tablice boja (tablica 5.), najmanje se razlike boja mogu očekivati kod promatranog Hi Fi ink jet ispisa, dok su najveće kod sublimacijskog ispisa. Pri tome srednja vrijednost promjena boja svih promatranih ispisa ne prelazi vrijednost $\Delta E_{00} 6$ koja je postavljena kao granica prihvatljivosti.

U području promatranja kontrasta kao pokazatelja dinamičkog raspona maksimalna gustoća obojenja je za crnu, također postignuta Hi Fi ink jet printerom. Ako se kao željeni dinamički raspon uzima dinamički raspon od 8 EV (standard za snimani i obrađeni JPEG zapis fotografije), promatrani Hi Fi ink jet ispis je jedini postigao navedeni zapis.

Ovakav dinamički raspon, uz tehničku mogućnost posebnog ispisa crne, daje ink jet ispisu potencijalnu prednost pri ispisu crno-bijelih fotografija. Pri tome ink jet ispis (u ovom slučaju ostvaren ispisom svih boja) i digitalni laserski printer kod promatranja tri akromatske boje pokazuju promjene manje od granice $\Delta E_{00} 6$. Iako su promjene

svjetline akromatskih boja kod sublimacijskog ispisa najmanje u odnosu na ulazne podatke značajne promjene a i b vrijednosti ne omogućuju bojom neutralni ispis korištenjem sublimacijskog printera (tablice 2, 3, 4) te se on ne može preporučiti kao optimalno rješenje za ispis crno-bijelih fotografija.

Međutim, kada se promatraju promjene standardnih boja kože (slike 12,13,14.) upravo sublimacijski ispis pokazuje najmanje promjene te se može preporučiti kao rješenje za ispis kolor portreta uz zadržavanje visoke ikoničnosti upravo u području reprodukcije boja. Međutim, treba naglasiti da i kod reprodukcije standardnih boja kože i standardne boje plavog neba svi promatrani ispisi zadovoljavaju kriterij da je promjena boja manja od $\Delta E_{00} 6$ (slike 12,13,14.), ali i da Hi Fi ink jet ispis jedini niti kod jedne promatrane boje ne pokazuje promjene iznad te granice.

Iz teoretskih razmatranja te provedenih ispitivanja se može zaključiti da se korektan ispis digitalnog zapisa fotografske slike danas može postići svim dominantnim tehnikama ispisa uz pretpostavku korektnog digitalnog zapisa i korištenje odgovarajućih materijala. Ograničenja su pri tome nešto veća kod ispisa crno-bijelih fotografija za što sublimacijski ispis nije pokazao doseg zadanih parametara kvalitete ispisa.

Odabir tehnike ispisa, naravno, ovisi i o drugim parametrima kao što je format ispisa, namjena ispisa, (svjetlo)stalnost ispisa, metamerijske karakteristike ispisa i slično koji su također definirani karakteristikama pojedine tehnike, konkretnog uređaja i konkretnih materijala za ispis.

6. LITERATURA

1. Mikota M., (2000). *Kreacija fotografijom*, VDT Publishing, Zagreb
2. Mikota M., (2007). *Studija sustava digitalne portretne fotografije*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb.
3. https://www.imagepermanenceinstitute.org/webfm_send/310 (19.08.2015)
4. http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_ink%20jet%20tinte.pdf
5. Yoshimura K., Kishimoto M., Suemune T. (1998). *Inkjet Printing Technology* dostupno na: <http://www.oki.com/en/otr/downloads/otr-161-10.pdf>, (25.08.2015)
6. Castrejón-Pita J.R., Baxter W.R.S., Morgan J., Temple S., Martin G.D., Hutchings I.M.(2013). *Future, Opportunities and Challenges of Inkjet Technologies* dostupno na: <https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/238990> (27.08.2015)
7. McLoughlin I. (2011). *Computer Architecture*, Nanyang Technological University
8. Mikota M., Kropar-Vančina V., Mitrović Kukoč B., *Usporedba dominantnih tehnika ispisa digitalne fotografijena optimalnim podlogama*, 8. savjetovanje tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija – Zbornik radova, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Ogranak Matice hrvatske Senj, Lovran, 2004, 95-100
9. Towner D., Burningham N., Schneider E., *An Objective Resolution Metric for Digital Printers*, Image Quality of Printers, HP, Boise, 2002.
10. Kipphan H., *Handbook of Print Media*, Springer, Heidelberg, 2001.